

Обеспечение энергоэффективности внутреннего освещения офисов и промышленных зданий методами обработки изображений

М. ДЕМИРБАШ, Т.Ф. ЧАВУШ, Д. ЯВУЗ¹

Компания *Arcelik R&D*, Университет Сакаръя, Турция

Аннотация

Экономия энергии, расходуемой на внутреннее освещение, особенно правительственных и неправительственных учреждений, важна для всех стран. Рост потребления электроэнергии ускоренно сокращает запасы традиционных источников энергии, а выброс парниковых газов при этом увеличивается. Поэтому следует серьёзнее относиться к возможностям экономии энергии, расходуемой на освещение. В данной работе эти возможности исследуются в офисном здании с использованием электрических параметров, измеряемых с помощью автоматизированной системы управления освещением, снабжённой видеокамерой, и на основе результатов обработки изображений достигается снижение энергопотребления. Задачи данного исследования состояли в улучшении энергетических характеристик осветительной установки и повышении её энергосберегающих возможностей.

Ключевые слова: экономия расходуемой на освещение энергии, управление освещением, метод обработки изображений, световод.

1. Введение

Мировые энергетические ресурсы ограничены. Потребность в энергии непрерывно возрастает с ростом численности населения и ускорением технического прогресса. Поэтому эффективное использование энергии и энергосбережение в последние годы были одной из наиболее актуальных проблем. Известно, что ресурсы, используемые в Турции для выработки электроэнергии, импортируются, и потребность в них растёт с каждым днём. Для развития

турецкой экономики и снижения зависимости от других стран эффективное использование электроэнергии очень важно.

2. Описание задачи

Экономия электроэнергии в освещении очень важна. Технический прогресс и экспоненциальный рост количества проводимых исследований позволяют повышать эффективность осветительных приборов и, как следствие, снижать энергопотребление. Кроме того, энергосбережение стало частью национальной и международной политики [1]. Международные организации, такие как основанное в 1974 г. Международное энергетическое агентство (МЭА) и Международная комиссия по освещению (МКО), основанная в 1913 г. и в последнее время удвоившая свои усилия, направленные на подъём энергоэффективности освещения, работают совместно с такими союзами государств и организациями, как Евросоюз (ЕС), Организация объединённых наций (ООН) и Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [2]. Важной целью этих исследований является максимально возможное повышение эффективности осветительных установок (ОУ) и ограничение расходуемой на освещение энергии.

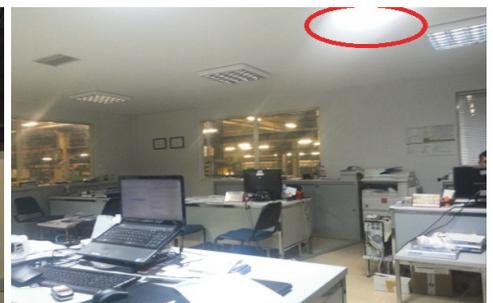
Последними примерами предпринимаемых в этом направлении усилий служат программа «Зелёный свет» (*Green Light Programme*), которая была инициирована и проводится ЕС, и учреждение правительством Канады Канадского совета по экологическому строительству (*CaGBC*) [4].

Энергосбережение – одна из важнейших проблем как для Турции, так и для Европы. Этому вопросу посвящено немало исследований [5]. Турецкая национальная комиссия по освещению и Палата инженеров-электриков проводят важные исследования и активно работают в области энергоэффективности освещения и экономии расходуемой на освещение энергии. Они проводят мероприятия, направленные на улучшение понимания широкими массами важности экономии расходуемой на освещение энергии. Кроме того, для развития научного и технического прогресса в области освещения, они проводят конгрессы и конференции, поддерживают многочисленные научные совещания и семинары и стараются направлять научные и технические исследования. Для понимания важности этих усилий полезно рассмотреть национальные и международные статистические данные. Согласно статистическому отчёту Турецкого института статистики, в 2010 г. полное потребление энергии составило 172 ТВт·ч, причём на офисные здания приходилось примерно 16% от этого количества [6]. Примерно 15–20% приходилось на искусственное освещение. Простые расчёты показывают, что в 2010 г. на освещение офисных зданий было израсходовано 5,5 ТВт·ч электроэнергии.

При рассмотрении Справочника по энергопотреблению [7], который был опубликован Научно-исследовательским строительным институтом



а)



б)

Рис. 1. Наружный (а) и внутренний (б) виды офиса

¹ E-mail: cyavuz@sakarya.edu.tr.
Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 2. Общая структура аппаратных средств

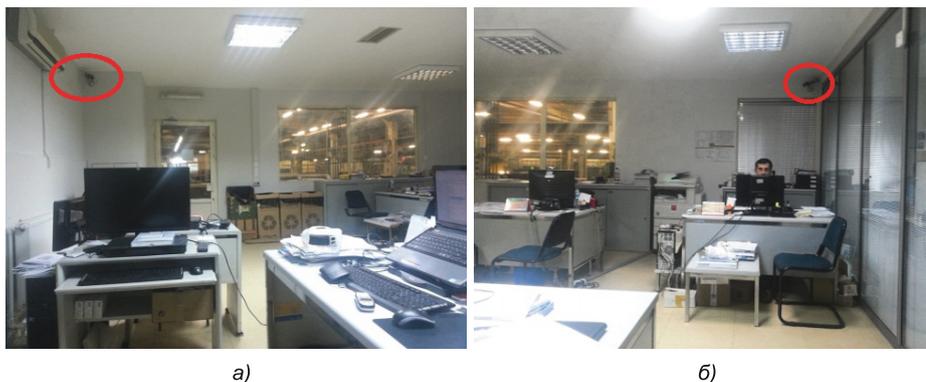
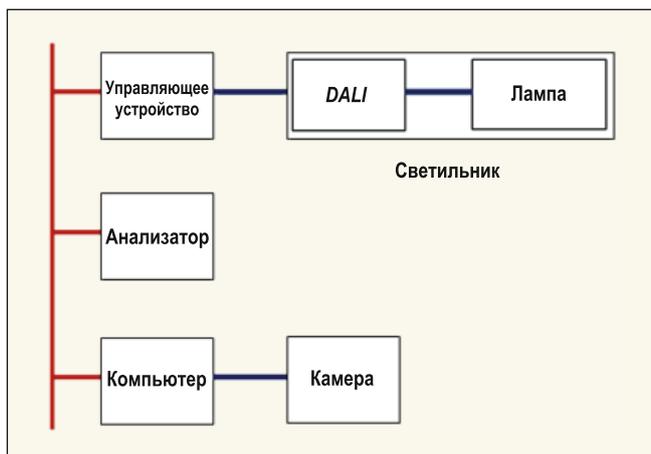


Рис. 3. Внутренний вид офиса

том (BRE) в 2007 г., и предшествующих отчётов Аккредитованного института специалистов по инженерному оборудованию зданий (CIBSE) [8] можно заметить, что от 20 до 40% от всего энергопотребления приходится на освещение. В США на общественные здания приходится более 30% от всей потребляемой в стране электроэнергии, и 25–40% от этой энергии расходуется на искусственное освещение [9]. Канадские статистические данные говорят о том, что в 2006 г. 10% энергии, потребляемой коммерческим сектором, расходовалось на освещение [10]. Если исключить жилые дома, то в Европе годовой

расход энергии на освещение составляет примерно 160 ТВт·ч, и 40% от этого количества потребляется офисными зданиями [11]. Последние статистические данные и прогнозы относительно уровня энергопотребления в будущем можно найти в отчёте по энергоэффективности, опубликованном МЭА [12]. Эти данные подтверждаются регламентом Европейского парламента по энергоэффективности [13]. Согласно этому документу, 19% потребляемой в мире электроэнергии расходуется на освещение, и упомянутые исследования говорят о том, что в ближайшем будущем эта доля может возрасти.

В Турции, как и в других странах, энергопотребление на очень высоком уровне. А учитывая рост численности населения, можно ожидать, что этот уровень поднимется ещё выше. Так что для экономии энергии, расходуемой на внутреннее освещение, следует улучшать существующие сейчас условия освещения. Кроме того, при проектировании и строительстве зданий необходимо предусматривать энергоэффективное освещение.

Один из наиболее серьёзных подходов состоит в переводе ОУ в существующих зданиях на энергоэффективное осветительное оборудование и во внедрении там, где можно, управления освещением, учитывающего естественное освещение. Предыдущие исследования показали, что благодаря подобному управлению можно экономить от 35 до 42% расходуемой на освещение энергии [14, 15].

С другой стороны, естественный свет очень важен для здоровья пребывающих в помещениях людей. Разные исследования показали, что наличие или отсутствие естественного света оказывает разное влияние на поведение людей. Люди нуждаются в зрении для восприятия многих факторов окружающей среды. И ещё естественный свет им нужен для создания наилучших условий зрительной работы [2].

Учитывая вклад расходуемой на освещение энергии в общее количество потребляемой энергии, было решено провести исследование, направленное на создание энергосберегающей и гибкой осветительной установки, в которой использовался бы метод обработки изображений.

3. Анализ и применение современных методов

Эксперименты проводились в офисном помещении фабрики, располо-



Рис. 4. Помещение для совещаний (а) и блоки системы видеонаблюдения (б, в) системы наблюдения

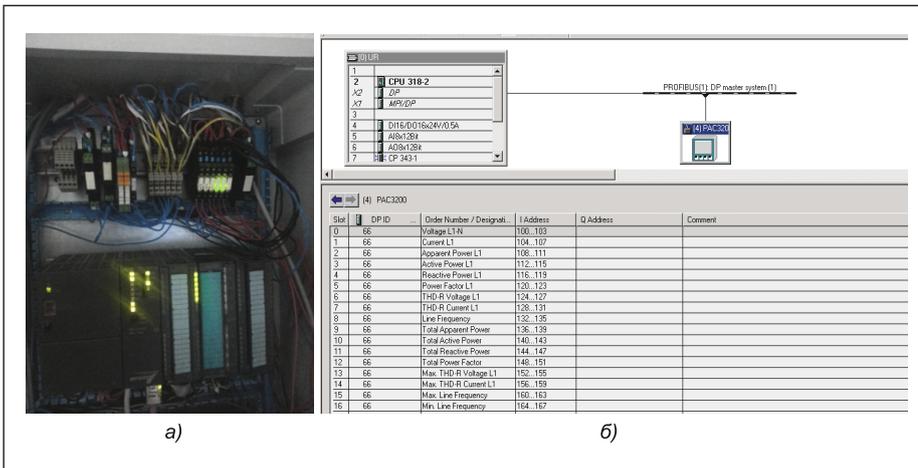


Рис. 5. ПЛК (а) и структура аппаратных средств ПЛК (б)

женной в г. Болу, Турция. Как видно из рис. 1, через окна в офис попадает ограниченное количество естественного света. Оно не обеспечивает требуемое для работы освещение в любое время суток. Вследствие этого и того, что искусственное освещение отрицательно сказывается на здоровье работников, в офисе, помимо окон, был установлен световод диаметром 50 см с зеркалами внутри, специально созданный для проведения данных исследований. Это обеспечило постоянное наличие в офисе естественного освещения в дневное время суток. Наличие естественного света в центре помещения уменьшило потребность в искусственном освещении при требуемых уровнях освещённости. Офис был разделён на три зоны освещения. При использовании метода обработки изображений авторы старались уравнивать уровни освещённости в разных зонах, чтобы обеспечить равномерное освещение рабочего пространства. Офис работал с 8 до 18 ч, то есть 10 ч в день. Освещаемая площадь офиса составляла $6 \times 10 = 60 \text{ м}^2$ при высоте потолка 2,80 м.

3.1. Структура системы

При проведении экспериментов использовались: подключённые к интернет-сети компьютер, управляющее устройство и устройство ввода-вывода данных; подключённые к компьютеру камеры и энергоанализатор (рис. 2).

3.2. Принцип действия системы

В светильниках использовался DALI-управляемый ПРА. В рассма-

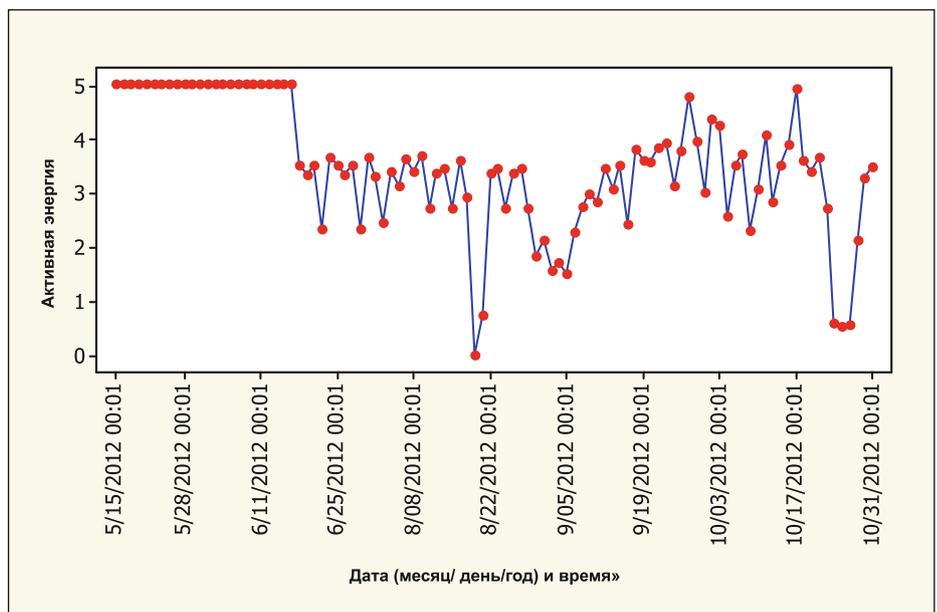


Рис. 7. Посуточное потребление активной энергии

триваемых зонах офиса освещение включалось и выключалось при помощи ПРА и DALI-управляющего устройства. Светильники содержали 4 люминесцентные лампы мощностью по 18 Вт с коррелированной цветовой температурой 3300 К и параболические зеркальные экранирующие решётки. В двух углах офиса на высоте 2,80 м были установлены камеры, которые наблюдали за помещением и создавали изображения, по результатам обработки которых принималось решение о включении или выключении светильников (рис. 3). Как упомянуто выше, офис был разделён на три зоны. 7 светильников включались и выключались группами из 2-х, 2-х и 3-х светильников в зависимости от наличия движения в зонах и результатов обработки изображе-



Рис. 6. Энергоанализатор

ний. Кроме того, в случаях достаточного естественного освещения светильники выключались даже при наличии в офисе персонала.

3.3. Экспериментальная установка

В первую очередь была смонтирована установка естественного освещения (световод показан на рис. 1), после чего электронные ПРА были заменены на DALI-управляемые, а видеокamera и устройство управления были установлены согласно рис. 4.

3.4. Интерфейс

Для обеспечения возможности автоматизированного управления освещением авторами был разработан

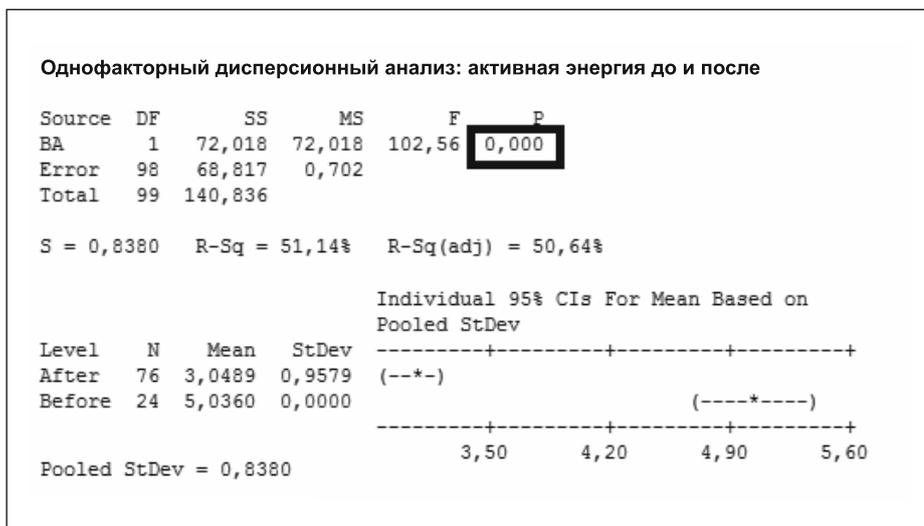


Рис. 8. Дисперсионный анализ потребления активной энергии до и после внедрения описываемого метода

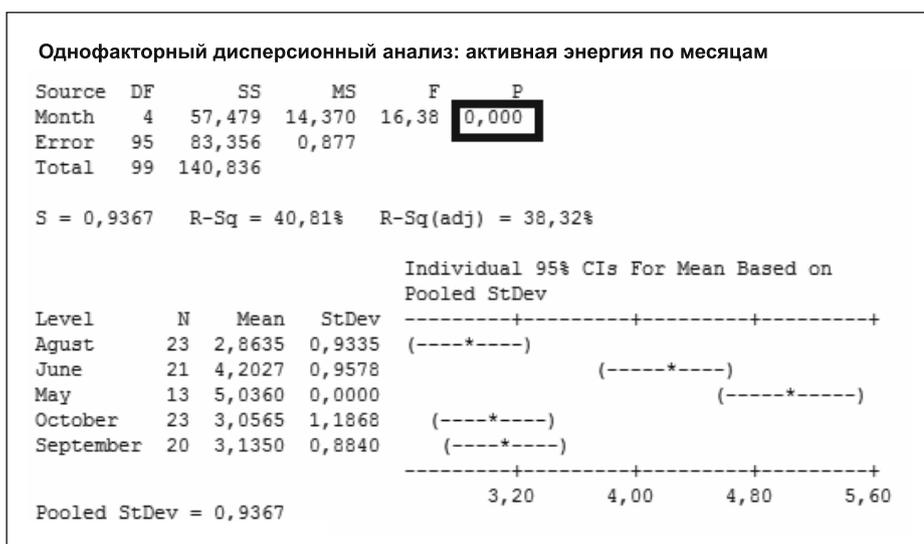
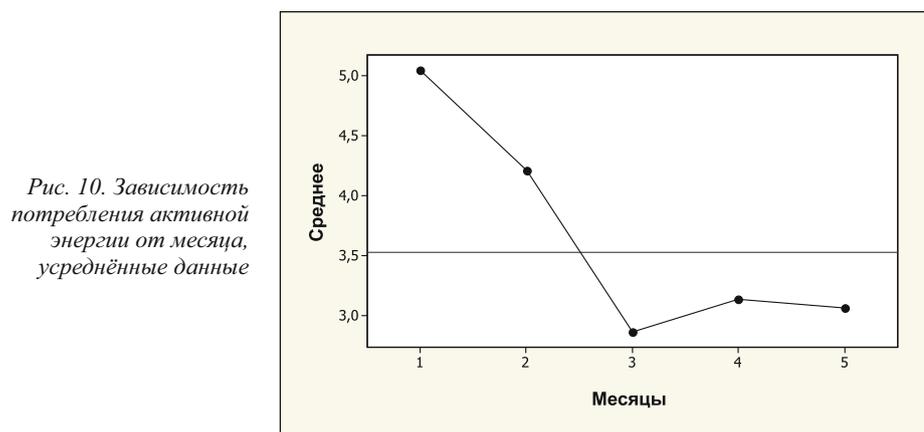


Рис. 9. Дисперсионный анализ помесечного потребления активной энергии



специальный интерфейс. Управление ОУ осуществлялось посредством программируемого логического контроллера (ПЛК) (рис. 5), последовательно соединённого с системой управления

видеокамерой, и включение светильников обеспечивалось сигналами, подаваемыми на ПЛК после регистрации движения. Видеокамера давала размер изображения 5 Мпикс и регистриро-

вала малейшие движения и жестикуляцию в помещении. Если освещённость в освещаемой зоне была требуемой или в помещении не было людей и (или) движение не регистрировалось в течение 30 с, то установка выключалась. Если кто-то входил в помещение, светильники в активной зоне включались с задержкой в 1 с. При использовании видео камер для регистрации уровня освещённости на ПЛК подавался сигнал 0 или 1. На основании информации об освещённости и наличии движения интерфейс осуществлял включение или выключение светильников. Энергопотребление установки отслеживалось энергоанализатором PAC 3200. Данные, получаемые ПЛК в сети «PROFIBUS», сохранялись на сервере при помощи программного обеспечения «SCADA». ПЛК, структура его аппаратной части и энергоанализатор отображены на рис. 5 и 6.

Для отслеживания уровней энергосбережения и качества энергии регистрировались поступающие от энергоанализатора данные о полном потреблении энергии и полном коэффициенте гармонических искажений. Измеренные значения считывались с энергоанализатора ПЛК и сохранялись в базе данных с периодичностью в 10 с. В базе данных сохранялись мгновенные значения тока и напряжения, мощность, частота, энергия, гармоники тока, гармоники напряжения, максимальные значения полных коэффициентов гармонических искажений тока и напряжения и дата.

4. Результаты эксперимента

Результаты, полученные по новому методу включения/выключения освещения только на основе поступающих от видеокамеры данных, приведены ниже. Перед реализацией этого метода суточное потребление энергии при работе 7 светильников по 10 ч в сутки составляло 5040 Вт·ч. Из рис. 7 видно уменьшение энергопотребления по сравнению с 5 кВт·ч, расходовавшимся перед применением метода. За более чем 4 месяца проведения экспериментов по использованию метода включения/выключения освещения на основе данных, получаемых обработкой изображений, было сэкономлено в среднем 40% электроэнергии. В такие летние месяцы, как июль и август, эта экономия достигала 60% и более (рис. 7).

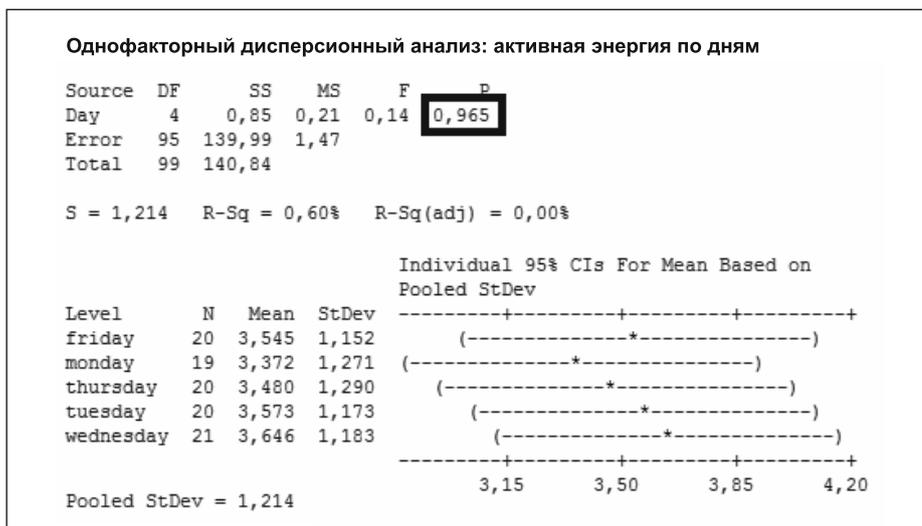


Рис. 11. Дисперсионный анализ посуточного потребления активной энергии при проведении исследований энергоэффективности

Для статистического подтверждения отличий был применён дисперсионный анализ (*Anova*), служащий одним из инструментов методики «шесть сигм» [16] (рис. 8).

Так как анализ посуточных данных даёт значение $p < 0,05$, можно признать наличие *Ha* (разности значений, полученных до и после внедрения нового метода). Наблюдается реальное различие между значениями, полученными до и после внедрения нового метода, и среднее потребление электроэнергии после внедрения упало на 40%.

Для подтверждения несовпадения месячных результатов был проведён соответствующий анализ (рис. 9).

Так как анализ помесечных данных даёт $p < 0,05$, можно признать наличие *Ha* (то есть данные, соответствующие по меньшей мере одному из месяцев (июню), отличны от остальных). Для наглядности, на рис. 10 приведён график помесечного потребления активной мощности. Экспериментальная часть данного исследования продолжалась около 5 месяцев, начавшись в июне и закончившись в октябре 2012 г. Представленные на рис. 10 данные получены с помощью энергоанализатора и программируемого интерфейса, в качестве исходной точки рассматриваются результаты, соответствующие одному месяцу. После начала работы системы (10 июня) наблюдалось резкое уменьшение энергопотребления.

Во время исследований работа установки ежедневно анализировалась (рис. 11).

5. Заключение

Как видно из графиков энергопотребления, ОУ со световодом и системой управления, содержащей ПЛК с подключённой к нему видеокамерой, обеспечивает экономию 40% энергии по сравнению с существующей традиционной ОУ.

Если проводить сравнение с результатами предшествующих исследований [14, 15, 17], естественное освещение в которых шло через окна и которые проводились примерно в таких же географических точках и при таких же условиях естественного освещения, то указанные 40% можно считать многообещающим достижением для установки совмещённого освещения подобного типа, в которой естественный свет поступает не напрямую, а в основном опосредованно.

Применение подобных установок на промышленных предприятиях может явиться энергосберегающей альтернативой установкам, работающим с автономными датчиками движения, и служить хорошим дополнением к системам управления, учитывающим естественное освещение. Установки этого типа могут реализовываться не только с *DALI*-управляемыми ПРА, но и с менее дорогостоящим управлением включением/выключением методом подачи напряжения 1–10 В.

Дальнейшие исследования должны направляться на измерения уровней энергосбережения и полных коэффициентов гармонических искажений тока и напряжения в случаях сниже-

ния искусственного освещения, когда измерения яркости говорят о достаточности естественного освещения.

Данная работа является результатом выполнения научно-исследовательского проекта 2012–50–02–043 Университета Сакарьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 2023 Energy goals of Turkey. URL: // <http://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Energy-Efficiency>, access date June 2015.
- Daylight in buildings a source book on day lighting systems and components / A Report of IEA SHC Task 21/ECBCS Annex 29, 2000.
- THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME. URL: // web site, <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenlight>, access date January 2013.
- Canada Green Building Council, LEED Green building rating system: reference package for new construction & major renovations: LEED Canada-NC version 1.0, Ottawa, Canada, Green Building Council, 2009.
- Turkish energy efficiency road map and goals, Koç University. URL: <http://www.enver.org.tr/UserFiles/Article/90dfee6d-4004-4165-99c0-5642a4e90ed0.pdf>, access date June 2015.
- TUIK, Turkey 2010 Energy Consumption Statistics, Ankara, 2012.
- BRE energy consumption guide 19, 2007.
- Guide F: Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Service Engineers, 1999.
- Krarti, M. Energy audit of building systems: an engineering approach. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000.
- National Resources Canada, Commercial/Institutional secondary energy use by energy source, end use and activity, Canada, 2000.
- Bertoldi, P., Ciugudeanu, C.N. Five Year Report of the European Greenlight Programme, EUR21648 EN, European Commission, DG JRC, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2005.
- International Energy Agency. Guidebook on energy efficient electric lighting, Annex45, 2009–12–09.
- European Parliament a Council, Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings, 16 December 2002.
- Гюлер Ё., Явуз С., Яникоглу Е. Определение реальных потенциальных возможностей экономии энергии в случае совмещённых осветительных установок – взгляд из Турции // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 51–56; Yavuz, C., Yanikoglu, E., Guler, O. Determination of Real Energy Saving Potential of Daylight Responsive Systems: A Case Study From Turkey // Light & Engineering. – 2010. – Vol. 18, No. 2. – P. 99–105.
- Гюлер Ё., Явуз Д., Яникоглу Е. Оценка систем управления совмещённым

освещением на основе результатов долгосрочных экспериментов // Светотехника. – 2013. – № 1. – С. 41–50; Yavuz, C., Yanikoglu, E., Guler, O. Evaluation Of Daylight Responsive Lighting Control Systems According to the Results of a Long Term Experiment // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 4. – P. 75–83.

16. Minitab* 16.2.1* 2010 Minitab Inc. MINITAB* and MINITAB logo* are trademarks of Minitab Inc.

17. Onaygil, S., Güler, Ö. Determination of the Energy Saving by Daylight Responsive Lighting Control Systems with an Example from Istanbul // Building and Environment. – 2003. – Vol. 38, No. 7. – P. 973–977.



Муса Демирбаш (Musa Demirbas),

*M.Sc. (2003 г.).
Окончил в 1996 г.
Технический университет
Ильдыз.
Докторант (Ph.D.)
Научно-технического*

института Факультета электротехники и электронной техники Университета Сакарьи. С 1997 г. работает в научно-исследовательском отделе завода электроплит компании Arçelik A.Ş.



Туркер Фодай Чауш (Turker Fedai Çavuş), Ph.D.

*(2004 г.). Окончил в 1995 г.
Стамбульский технический университет.
Доцент кафедры электротехники*

и электроники Университета Сакарьи. Научные интересы – применение освещения, надёжность электрических систем и высоковольтной техники. Член Турецкой палаты инженеров-электриков



Дженк Явуз (Cenk Yavuz),

*Ph.D. (2010 г.).
Окончил в 2002 г.
Университет Сакарьи. Доцент кафедры электротехники и электроники Университета*

Сакарьи. Научные интересы – применение естественного освещения, экономия энергии в освещении, энергоэффективность и качество освещения. Член Турецкого национального комитета МКО

«Lighting Kazakhstan 2015»



27-29.10.2015 г. Алматы
5-я Казахская Международная выставка «Освещение, Светотехника и Светодиодные технологии»

Выставка «Освещение, Светотехника и Светодиодные технологии» – «Lighting Kazakhstan» является основной выставочной площадкой Казахстана в светотехнической области.

Перспективы для зарубежных компаний в освоении казахстанского светотехнического рынка открываются:

- практическим отсутствием конкурентной среды в производстве и поставке светотехнической продукции;
- отсутствием отечественных производителей;
- наличием на рынке Казахстана импортируемой светотехнической продукции низкого качества в ограниченном ассортименте и по значительно завышенной стоимости;
- существенным отставанием от развитых стран в области внедрения и спользования светодиодной продукции и энергосберегающих технологий;
- значительным потенциалом энергосбережения в Казахстане – по оценкам специалистов он составляет 30% от общего уровня энергопотребления.

Энергосберегающая светотехническая продукция становится главной темой казахстанских закупщиков и потребителей (наиболее потребляющие сферы – жилые, административные и общественные здания; промышленность).

Основными секторами выставки являются:

- Техническое освещение
- Декоративное освещение

- Освещение промышленных объектов различных отраслей
- Освещение улиц, подземных переходов, дорожных развязок, транспортных магистралей
- Ландшафтное освещение
- Освещение торговых залов, театров, мест отдыха и развлечений
- Источники света
- Светодиодное осветительное оборудование
- Дизайн и светотехническое проектирование
- Декоративные осветительные системы: световые сетки, гирлянды, завесы, электронные пушки и др.
- Светомузыка и световые эффекты
- Светодиодные табло и экраны
- Световой дизайн
- Системы управления освещением
- Аварийное освещение, дорожные знаки и светофоры
- Светотехника для транспортной инфраструктуры
- Компоненты и материалы для производства светотехнической продукции

Введение в действие с 2010 г. Таможенного союза Казахстана, России и Белоруссии открывает новые перспективы сотрудничества для казахстанских, российских и белорусских производителей и поставщиков светотехнического оборудования.

В настоящее время значительно возрос импорт/экспорт товаров в зоне действия Союза, включая и светотехническую продукцию в связи с упрощённой процедурой таможенной очистки и снижением транспортных расходов.